

CULLET DALAM EKONOMI SIRKULAR INDUSTRI KACA*Cullet In The Circular Economy Of The Glass Industry***Maulid Purnawan^{*)}, Ria Julyana Manullang^{*)}, dan Kristanto Wahyudi^{*)}**^{*)} Kontributor Utama, ^{**)} Kontributor Anggota

Balai Besar Keramik

Jalan Ahmad Yani No. 392, Bandung, Indonesia

maulidpurnawan@gmail.com

Naskah masuk: 19 Desember 2020, Revisi: 7 Januari 2021, Diterima: 11 Januari 2021

ABSTRAK

limbah kaca (*cullet*) di Indonesia masih memiliki nilai ekonomi yang saat ini belum diolah dengan baik. Pengolahan *cullet* dapat dijadikan solusi substitusi impor *cullet* untuk bahan baku industri kaca sekaligus menjadi solusi masalah lingkungan. Salah satu metode pengelolaan *cullet* adalah melalui ekonomi sirkular. Ekonomi sirkular merupakan model yang bertujuan menggunakan sumberdaya secara efektif dan efisien melalui mengeliminasi timbulnya limbah dan memperpanjang fungsi dan manfaat suatu sumber daya dalam suatu proses produksi. Dalam makalah ini, telah disusun model ekonomi sirkular pada industri kaca yang menitikberatkan pada pengelolaan *cullet* melalui proses *reduce, reuse, recycle* dan *regenerative* menjadi *cullet* sebagai bahan baku kaca. Beberapa hal untuk membantu terwujudnya penerapan ekonomi sirkular limbah kaca di Indonesia ialah dengan tersedianya industri pengumpul, pemilah dan pengolah limbah kaca serta perubahan budaya masyarakat dalam pembuangan limbah agar limbah kaca tidak bercampur dengan limbah lain dan mudah untuk didaur ulang. Dukungan pemerintah sebagai pemangku kebijakan juga dapat mendorong proses transisi menuju ekonomi sirkular.

Kata Kunci: *Cullet*, kaca, ekonomi sirkular, *reduce, reuse, recycle*

ABSTRACT

lass waste (cullet) in Indonesia has economic value which is currently not yet properly processed. Cullet processing could be a solution to imported cullets substitution as raw materials for the glass industry and also a solution to environmental problems. One method of processing cullets is through the circular economy. Circular economy is a model that aims to use resources effectively and efficiently by eliminating the emergence of waste and extending the functions and benefits of a resource in a production process. In this paper, a circular economy model for the glass industry has been

developed which focuses on the management of cullets through the process of reduce, reuse, recycle and regenerative into cullets as glass raw materials. Several ways to help the application of a circular economy of glass waste in Indonesia are the availability of industries that collecting, sorting and processing glass waste and also the changes of society culture in waste disposal so that glass waste does not mix with other waste and easy to recycle. Government support as policy makers can also encourage the transition process towards a circular economy.

Keywords: *Cullet, glass, circular economy, reduce, reuse, recycle*

I. PENDAHULUAN

Industri kaca lembaran nasional saat ini memiliki kapasitas produksi terpasang sebesar 1,34 juta ton per tahun[1][2]. Industri ini merupakan sektor dengan *carbon footprint* yang tergolong tinggi [3]. Berdasarkan ecofys (2009) dilaporkan bahwa setiap produksi satu ton kaca lembaran menghasilkan emisi 677 kg CO₂. Hal ini menyebabkan energi dalam bentuk bahan bakar merupakan ongkos produksi yang paling tinggi selain bahan baku kaca (pasir kuarsa, dolomit dan *soda ash*). Penggunaan *cullet*/limbah pecahan kaca sebagai *flux* (bahan penurun titik lebur) dapat menurunkan konsumsi bahan bakar sebanyak 25% yang berimplikasi pada penurunan *carbon footprint* [1].

Pada produksi kaca lembaran, umumnya *cullet* digunakan dalam komposisi bahan baku sekitar 20

persen sehingga untuk memproduksi 1,34 juta ton pertahun dibutuhkan *cullet* sekitar 268 ribu ton. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, digunakan *cullet* dari sisa proses produksi dan sebagian besar masih diperoleh dari impor. Berdasarkan data BPS, sepanjang tahun 2019 tercatat sebanyak 60.820 ton impor *cullet* untuk keperluan industri kaca dengan nilai 5,7 juta dolar Amerika [4]. Impor dilakukan karena jumlah *cullet* dalam negeri tidak mampu memenuhi kebutuhan industri kaca dalam negeri. Belum tersedianya pengolahan limbah kaca merupakan faktor penyebab tidak terpenuhinya *carrying capacity cullet* untuk industri kaca di Indonesia.

Pada sudut pandang yang berbeda, berdasarkan riset dari *Sustainable Waste Indonesia* (SWI), setiap tahunnya Indonesia menghasilkan 65 juta ton sampah,

dengan komposisi sampah organik (60%), sampah plastik (14%), sampah kertas (9%), metal (4,3%), kain (3,5%) dan kaca (1,7%) [5] [6]. Mengacu pada data tersebut, terdapat 1,1 juta ton sampah kaca yang belum dimanfaatkan dan hanya berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA).

Kedua fakta kontradiktif di atas memperlihatkan bahwa limbah kaca masih memiliki nilai ekonomi yang saat ini belum diolah dengan baik. Mengolah limbah kaca dapat dijadikan solusi substitusi impor *cullet* untuk bahan baku industri kaca sekaligus menjadi solusi masalah lingkungan. Salah satu metode pengelolaan limbah kaca adalah melalui ekonomi sirkular. Dalam makalah ini akan

dijelaskan mengenai konsep ekonomi sirkular melalui pengolahan *cullet* di industri kaca.

II. EKONOMI SIRKULAR

Kementerian Perindustrian (Kemenperin) sebagai kementerian yang mengatur pengembangan dan ekosistem industri di Indonesia, memiliki program pengembangan industri hijau sebagaimana diatur dalam Undang-Undang No 3 tahun 2014 tentang perindustrian [7]. Salah satu program penerapan industri hijau adalah melalui pengembangan ekonomi sirkular seperti tersirat dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020-2024 pada Tabel 1[8].

Tabel 1. Ekonomi sirkular dalam RPJMN 2020-2024

Program Nasional (PN)	Program Prioritas (PP)	Kegiatan Prioritas & Pro PN
PN 1 Penguatan Ketahanan Ekonomi untuk Pertumbuhan yang Berkualitas	- PP 2 – Peningkatan Nilai Tambah, Lapangan Kerja, dan Investasi di Sektor Riil, dan Industrialisasi - PP 4 – Penguatan Pilar Pertumbuhan dan Daya Saing Ekonomi	- Penguatan <i>Circular Economy</i> Sebagai Sumber Efisiensi dan Nilai Tambah - Penerapan Industri Hijau
PN 6 Membangun Lingkungan Hidup, Meningkatkan Ketahanan Bencana dan Perubahan Iklim	- PP 3 – Pembangunan Rendah Karbon	- Penanganan Limbah - Pengembangan Industri Hijau

Ekonomi sirkular merupakan paradigma baru dalam pemanfaatan sumber daya alam dan meningkatkan keberlanjutan ekologi[9]. Ellen

MacArthur Foundation (2014), mendefinisikan ekonomi sirkular sebagai sistem industri dengan tujuan dan desain yang restoratif atau

regeneratif. Konsep ini menggantikan konsep '*end-of-life*' dengan restorasi, beralih ke penggunaan energi terbarukan, mengurangi penggunaan bahan kimia beracun yang mengganggu, penggunaan kembali (*reuse*) [10][11][12]. Tujuan konsep ini untuk mengeliminasi limbah melalui desain bahan, produk, sistem yang unggul dan model bisnis. Geissdoerfer dkk. (2017) mendefinisikan ekonomi sirkular sebagai sistem regeneratif dengan masukan sumber daya dan limbah, emisi, dan kebocoran energi yang diminimalkan yaitu dengan memperlambat, menutup serta mempersempit putaran material dan energi [11][13]. Hal ini dapat dicapai melalui desain yang tahan lama dan terdapat pemeliharaan, perbaikan, penggunaan kembali, produksi ulang, pembaruan, dan daur ulang. Kirchherr dkk. (2017) menyimpulkan bahwa ekonomi sirkular menggambarkan sistem ekonomi yang didasarkan pada model bisnis yang menggantikan konsep '*end-of-life*' dengan mengurangi, menggunakan kembali, mendaur ulang serta memperbaiki bahan dalam proses produksi, distribusi dan konsumsi, sehingga operasional di tingkat mikro (produk, perusahaan, konsumen), tingkat

menengah (kawasan industri) dan tingkat makro (kota, wilayah, bangsa dan seterusnya), dengan tujuan untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, yang berarti menciptakan kualitas lingkungan, kemakmuran ekonomi dan kesetaraan sosial, untuk kepentingan generasi sekarang dan masa depan [14]. Berdasarkan tiga definisi tersebut, ekonomi sirkular dapat diartikan sebagai sistem industri yang didesain restoratif dan regeneratif, yang bertujuan untuk menjaga suatu produk dan komponen serta material memiliki kegunaan dan nilai tertinggi sepanjang waktu [15][10].

Bonciu (2014) membahas mengenai perubahan paradigma dari model ekonomi linier menjadi ekonomi sirkular [16]. Ekonomi linear merupakan proses parsial dimana luaran dari suatu proses produksi adalah produk akhir dan limbah/sampah. Limbah yang dihasilkan tidak jarang dapat menjadi biaya dan berpotensi merusak serta berdampak pada keberlanjutan lingkungan [9]. Ekonomi sirkular mampu menjawab permasalahan tersebut melalui tiga prinsip dasar [13][17][18], yaitu :

1. desain proses yang mengeliminasi limbah dan polusi

2. mempertahankan material/bahan dan produk untuk tetap dapat mempunyai nilai guna dan manfaat
3. meregenerasi sistem secara alami.

Model ekonomi sirkular nyatanya kini sudah mendapat banyak dukungan dari perusahaan sebagai pelaku bisnis. Hal ini disebabkan perusahaan mencegah kenaikan biaya oleh daya dukung lingkungan (*carrying capacity*) terutama dalam penyediaan bahan baku. Hal ini berkaitan juga dengan faktor kedua yaitu efek dari perubahan iklim yang menuntut penggunaan energi tak terbarukan secara efisien. Pelaku usaha terus berupaya meningkatkan efektivitas proses produksi agar penggunaan sumber daya menjadi efisien. Mengingat semakin ketatnya peluang *supply-demand* yang akan terjadi di tahun 2030 dimana akan banyak permintaan dari *emerging economy countries of Asia* terkait demografi saat ini, maka perusahaan berupaya untuk tetap dapat menjaga ketersediaan sumber daya agar dapat tetap memenuhi rantai *supply-demand* di masa yang akan datang[17]. Dalam proses produksi, model ekonomi sirkular tidak sekedar menjual suatu produk begitu saja namun menaruh perhatian lebih pada kegunaan produk

tersebut yang dilihat dari daya tahan produk, apakah produk dapat digunakan berulang kali atau tidak, dan apakah produk tersebut cocok dengan lingkungan sosial maupun lingkungan hidup di sekitarnya. Selain itu, tetap memperhatikan perkembangan teknologi dunia, berwawasan lingkungan seperti pembangunan berkelanjutan dan *low carbon emission*[19]. Negara-negara Eropa melalui Uni Eropa sudah menerapkan praktek ekonomi sirkular ini dengan dukungan berbagai kebijakan yang menitikberatkan pada pembangunan berkelanjutan[3][20].

Ekonomi sirkular tidak hanya diimplementasikan dalam satu sektor industri secara linier. Keterkaitan antara semua sektor industri dalam memenuhi tujuan pembangunan berkelanjutan menjadikannya sebagai suatu ekosistem industri yang kompleks dan berkesinambungan. Sebagai upaya menciptakan ekosistem ekonomi sirkular di bidang industri, Kemenperin memiliki program pembuatan roadmap ekonomi sirkular di Indonesia. Sebagai langkah awal, pada tahun 2020 dilaksanakan program penyusunan *roadmap* pada industri elektronika.

III. EKONOMI SIRKULAR KACA

Berdasarkan ASTM C:162, kaca didefinisikan sebagai produk anorganik yang dilebur dan didinginkan sampai kondisi kaku tanpa terjadi kristalisasi. Kaca adalah material amorf yang pada suhu ruang mempunyai bentuk yang keras, tetapi apabila dipanaskan, lama kelamaan akan menjadi lunak dan akhirnya menjadi kental hingga mencapai keadaan cair jika suhu makin dinaikkan [21]. Dalam kehidupan sehari-hari, kaca digunakan antara lain sebagai bahan bangunan, furnitur, alat makan minum, bagian dari kendaraan bermotor dan aplikasi lainnya. Bahan baku pembuatan kaca adalah pasir silika, dolomit, *soda ash* dan *cullet*. Keempat bahan utama pembentuk kaca tersebut adalah termasuk ke dalam sumber daya alam yang *exhaustible* / tak terbarukan. Selain itu, industri ini pun merupakan sektor yang padat energi karena diperlukan suhu 1400-1600 °C dalam proses peleburan bahan baku menjadi produk kaca. Bahan bakar yang digunakan adalah gas alam yang juga tergolong sumber daya alam tak terbarukan. Proses produksi kaca umumnya melibatkan komponen sumber daya alam yang tak terbarukan sehingga diperlukan

manajemen yang baik untuk memastikan efisiensi dan efektivitas dalam pemanfaatan sumber daya alam dan memperhatikan keberlanjutan lingkungan.

Model ekonomi sirkular pada industri kaca ditampilkan pada Gambar 1. Rancangan model ekonomi sirkular tersebut menggambarkan pola aliran sirkulasi limbah kaca dalam pemenuhan kebutuhan *cullet* sebagai *flux* pada proses produksi kaca lembaran maupun sebagai bahan baku produk kaca lainnya.

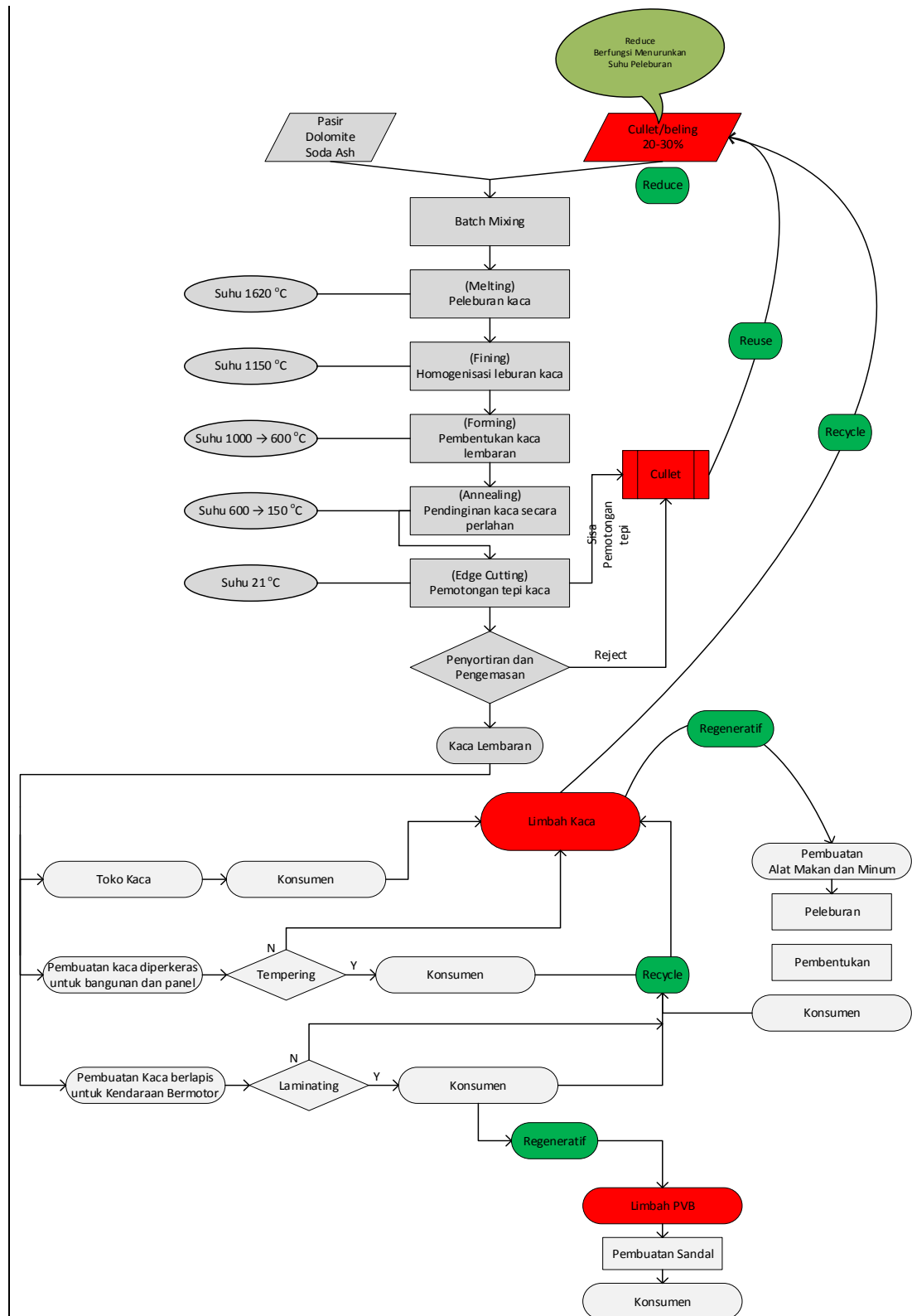
Cullet yang digunakan berasal dari proses *reuse* dari produk *reject* pada proses produksi, *recycle* limbah produk turunan kaca seperti kaca kendaraan bermotor, kaca bangunan dan panel serta kaca sebagai limbah dari masyarakat pengguna.

III.1 Produksi Kaca Lembaran

Proses produksi kaca lembaran terdiri dari pencampuran komposisi kaca, *melting* /peleburan kaca, *refining*/homogenisasi leburan kaca, *forming*/pembentukan kaca lembaran di atas cairan timah, *annealing*/ proses pendinginan suhu kaca lembaran secara perlahan, pemotongan tepi kaca, *sorting* dan *packing* serta distribusi produk kaca kepada konsumen seperti ditampilkan dalam Gambar 1. Dalam proses pemotongan

tepi kaca dan *sorting & packing*, *cullet* yang dihasilkan dari proses tersebut dikembalikan ke *mixing batch*.

Kegiatan tersebut merupakan fungsi *reuse* dalam ekonomi sirkular di komoditi kaca[12].



Gambar 1. Model ekonomi sirkular pada ekosistem industri kaca

Produk kaca lembaran merupakan bahan baku untuk pembuatan kaca diperkeras untuk bangunan dan panel, kaca berlapis untuk kendaraan bermotor. Selain itu, produk tersebut dapat digunakan langsung oleh konsumen sebagai bahan bangunan. Regenerasi limbah kaca dari konsumen dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan alat makan dan minum.

III.2 Kaca diperkeras untuk bangunan dan panel

Kaca diperkeras / *tempered glass* adalah kaca yang dikeraskan dengan memanaskan kaca lembaran hingga mencapai suhu sekitar 700 °C, kemudian didinginkan secara mendadak dengan menyemprotkan udara secara merata pada kedua permukaan kaca. Pada proses ini terjadi perubahan fisik pada kaca yaitu perubahan gaya tekan dan gaya tarik pada kaca yang menyebabkan kekuatan mekaniknya menjadi lebih baik, tetapi secara visual tidak ada perubahan. Penggunaan kaca ini adalah sebagai material pintu, dinding kaca pada bangunan, dinding batas kaca, tangga, eskalator, elevator, serta untuk furnitur, seperti di atas meja, lemari kaca, dan lainnya.

Kaca diperkeras bila dipecahkan akan menghasilkan pecahan kaca yang kecil dan tumpul dengan jumlah sekitar 50 buah untuk tiap luasan 25 cm². Limbah kaca ini dapat dimanfaatkan sebagai *cullet* yang dijadikan bahan *recycle* sebagai bahan baku pembuatan kaca lembaran seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Namun proses tersebut belum terlaksana di Indonesia disebabkan limbah kaca belum dipisahkan dari limbah konstruksi lainnya sehingga belum termanfaatkan secara optimal.

III.3 Kaca berlapis untuk kendaraan bermotor dan safety

Kaca berlapis (laminasi) dibuat dari beberapa kaca lembaran yang direkatkan oleh lapisan *Poly Vinyl Butyral* (PVB) kemudian diproses pada tekanan dan suhu tertentu. Saat pecah, kaca laminasi tidak akan berhamburan. Kaca jenis ini hanya akan terlihat retak pada permukaannya, bahkan ketika seluruh permukaannya sudah retak, kaca laminasi akan tetap berbentuk lembaran dan tetap terpasang pada rangkanya.

Daur ulang dan regenerasi limbah kaca berlapis memerlukan proses awal untuk memisahkan PVB dengan

pecahan kaca. Swain dkk (2015). merancang alat pemisah PVB dan kaca menggunakan metode kimia mekanik [22][23]. Metode ini dapat dijadikan sebagai solusi penanganan limbah kaca berlapis sehingga dapat diregenerasi maupun di *recycle* ke dalam bentuk produk lain sehingga dapat memperpanjang umur pakainya sesuai dengan prinsip ekonomi sirkular. Pecahan kaca yang sudah dipisahkan dapat didaur ulang menjadi bahan baku kaca lembaran, sedangkan PVB yang dipisahkan mempunyai potensi sebagai bahan baku produk polimer seperti sandal. Pemanfaatan limbah tersebut termasuk proses regenerasi, dimana limbah dari suatu produk dapat dijadikan sebagai bahan baku produk lain yang memiliki nilai tambah ekonomi.

III.4 Alat Makan dan minum berbahan kaca

Peralatan makan dan minum berbahan kaca dibuat dari bahan baku *cullet*. *Cullet* dari limbah kaca diperkeras maupun dari pecahan kaca lembaran dapat digunakan bahan baku untuk produk ini.

III.5 Pembuatan produk dari hasil daur ulang PVB dari limbah kaca kendaraan bermotor

Peningkatan "*end of life*" suatu material merupakan salah satu komponen dalam ekonomi sirkular. Proses regenerasi ini dilakukan dengan menjadikan limbah/produk samping dari suatu proses menjadi bahan baku atau input untuk proses lainnya[24]. Berbagai metode telah digunakan untuk meregenerasi limbah PVB. Salah satunya melalui pemisahan PVB dari kaca seperti dilakukan oleh Swain dkk (2015)[22]. PVB yang telah dipisahkan kemudian didaur ulang menjadi produk kaca berlapis[25][26] atau dijadikan sebagai bahan baku produk lain seperti industri pembuatan alas kaki [23][24][27].

Penerapan ekonomi sirkular di industri kaca dapat terwujud tentunya dengan dukungan dari pemerintah serta peran aktif masyarakat. Pemberian insentif bagi penciptaan sistem ekonomi sirkular dan penetapan persyaratan penggunaan bahan sekunder atau bahan daur ulang oleh pemerintah dapat mendukung terwujudnya ekonomi sirkular. Belum adanya industri pengumpul, pemilah dan pengolah

limbah kaca juga merupakan kendala penerapan ekonomi sirkular. Perubahan paradigma serta budaya masyarakat dalam pembuangan limbah kaca juga diperlukan agar limbah kaca tidak tercampur dan dapat diregenerasi atau didaur ulang.

IV. KESIMPULAN

Ekonomi sirkular merupakan model yang bertujuan menggunakan sumber daya secara efektif dan efisien melalui eliminasi timbulnya limbah dan memperpanjang fungsi dan manfaat suatu sumber daya dalam suatu proses produksi. Telah disusun model ekonomi sirkular pada industri kaca yang menitikberatkan pada pengelolaan limbah kaca melalui proses *reduce*, *reuse*, *recycle* dan *regenerative* menjadi *cullet* sebagai bahan baku kaca dan produk lainnya. Beberapa kendala dalam penerapan ekonomi sirkular di Indonesia antara lain: belum tersedianya industri pengumpul, pemilah dan pengolah limbah kaca serta budaya masyarakat dalam pembuangan limbah. Dukungan dari pemerintah serta peran aktif masyarakat sangat dibutuhkan dalam penerapan ekonomi sirkular di industri kaca.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. P. Pratama, "Kapasitas Industri Kaca Nasional Naik Jadi 1,34 Juta Ton - Ekonomi Bisnis," *Bisnis.com*.<https://ekonomi.bisnis.com/read/20190218/257/890137/kapasitas-industri-kaca-nasional-naik-jadi-134-juta-ton> (accessed Oct. 25, 2020).
- [2] Ahl, "2019, Jumlah Sampah di Indonesia Capai 64 Juta Ton _ Okezone techno," *Agregasi VOA*, 2020.
<https://techno.okezone.com/read/2020/06/09/56/2226704/2019-jumlah-sampah-di-indonesia-capai-64-juta-ton> (accessed Dec. 17, 2020).
- [3] S. Priestley, "EU Circular Economy Package," 2015. [Online]. Available: <http://researchbriefings.parliament.uk/ResearchBriefing/Summary/CBP-7416>.
- [4] "Mass, Impor [70010000] Cullet&oth waste&scrap of glass;glass in the," *Badan Pusat Statistik*, 2019.
<https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/960>. (accessed Dec. 17, 2020).
- [5] H. Widowati, "Komposisi Sampah di Indonesia Didominasi

- Sampah Organik,” *Databoks*, 2017databoks.katadata.co.id/datapublish/2019/11/01/komposisi-sampah-di-indonesia didominasi-sampah-organik (accessed Dec. 17, 2020).
- [6] Ast/rah, “Riset: 24 Persen Sampah Indonesia Masih Tak Terkelola,” *CNN Indonesia*. 2018, [Online]. Available: <https://www.cnnindonesia.com/gaya-hidup/20180425101643282-293362/riset-24-persen-sampah-di-indonesia-masih-tak-terkelola>.
- [7] P. R. I. Presiden Republik Indonesia, *UU No 3 tahun 2014 Tentang Perindustrian*, Vol. 3, No. 4. Indonesia, 2014, pp. 1–25.
- [8] KemenPPN/Bappenas, *Lampiran III Peraturan Presiden Nomor 18 Tahun 2020 Tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2020-2024*. 2019, p. 313.
- [9] E. Hysa, A. Kruja, N. U. Rehman, and R. Laurenti, “Circular economy innovation and environmental sustainability impact on economic growth: An integrated model for sustainable development,” *Sustain.*, vol. 12, no. 12, 2020, doi: 10.3390/SU12124831.
- [10] The Ellen MacArthur Foundation, “Towards The Circular Economy”, 2013 [Online]. Available: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>.
- [11] N. Deutsch, “Note on the link between Circular Economy and technology-oriented theories of sustainable development: A literature review,” *Közgazdász Fórum Forum Econ. Bus.*, vol. 22 (139), pp. 3–24, 2020, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/344309973%0ANote>.
- [12] C. Springer and A. Hasanbeigi, “Emerging energy efficiency and carbon dioxide emissions-reduction technologies for the glass industry,” 2017.
- [13] M. Geissdoerfer, P. Savaget, N. M. P. Bocken, and E. J. Hultink, “The Circular Economy – A new sustainability paradigm?,” *J. Clean. Prod.*, Vol. 143, pp. 757–768, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.
- [14] J. Kirchherr, D. Reike, and M. Hekkert, “Conceptualizing the

- circular economy: An analysis of 114 definitions,” *Resour. Conserv. Recycl.*, Vol. 127, Desember, pp. 221–232, 2017, doi:10.1016/j.resconrec.2017.09.005
- [15] D. Gallaud and B. Laperche, *Circular economy, industrial ecology and short supply chain*, Vol. 4. 2016.
- [16] F. Bonciu, “The European economy: From a linear to a circular economy,” *Rom. J. Eur. Aff.*, Vol. 14, No. 4, pp. 78–91, 2014.
- [17] R. De Angelis, *Business Models in the Circular*. Exeter: Springer International Publishing AG, 2018.
- [18] Institut Montaigne, “The circular economy: Reconciling economic growth with the environment,” Paris, 2016. [Online]. Available: <https://www.institutmontaigne.org/ressources/pdfs/publications/policy-paper-circular-economy.pdf>.
- [19] M. Tonelli and N. Cristoni, *Strategic Management and the Circular Economy*. New York: Routledge, 2018.
- [20] A. Soezer and C. Arden-Clarke, “A Circular And Low Carbon Economy,” New York, 2020.
- [21] M. Hasanuzzaman, A. Rafferty, M. Sajjia, and A.-G. Olabi, “Properties of Glass Materials,” in *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 2016, pp. 1–12.
- [22] B. Swain, J. Ryang Park, D. Yoon Shin, K. S. Park, M. Hwan Hong, and C. Gi Lee, “Recycling of waste automotive laminated glass and valorization of polyvinyl butyral through mechanochemical separation,” *Environ. Res.*, Vol. 142, No. 2015, pp. 615–623, 2015, doi: 10.1016/j.envres.2015.08.017.
- [23] M. Tupy, P. Mokrejs, D. Merinska, P. Svoboda, and J. Zvonicek, “Windshield recycling focused on effective separation of PVB sheet,” *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 131, No. 4, pp. 1–9, 2014, doi: 10.1002/app.39879.
- [24] H. I. Abdel-Shafy and M. S. M. Mansour, “Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization,” *Egypt. J. Pet.*, Vol. 27, No. 4, pp. 1275–1290, 2018, doi: 10.1016/j.ejpe.2018.07.003.
- [25] L. Knapcikova, “Investigation of Mechanical Properties of Recycled Polyvinyl Butyral After Tensile Test,” *Acta Technol.*, Vol.

- 4, No. 4, pp. 63–66, 2018, doi: 10.22306/atec.v4i4.42.
- [26] M. Tup, D. Mnsk, and V. Kaprkov, “PVB Sheet Recycling and Degradation,” in *Material Recycling - Trends and Perspectives*, D. D. Achilias, Ed. InTech, 2012, pp. 1–406.
- [27] J. T. Staikos and S. Rahimifard, “Post-consumer waste management issues in the footwear industry,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, Vol. 221, No. 2, pp. 363–368, 2007, doi: 10.1243/09544054JEM732SC.